INTRODUCCIÓN:

A modo de introducción, comentar que ya desde tiempos inmemoriales , el hombre ha intentado dominar la Naturaleza por tal de aprovechar sus enormes potenciales.

Esta encarnizada lucha entre el hombre y la Naturaleza, ha sido la causa, prácticamente siempre, de alguna derrota para el género humano y son contadas las ocasiones en las que el hombre consiguió salir victorioso. Recordamos, pues, hechos tales como el lenguaje, el descubrimiento del fuego, la rueda o la agricultura, que han constituido verdaderos hitos en el transcurso de la historia.

Aún así, ninguno de ellos ha sido tan importante como lo que se llamó CIENCIA MODERNA. Ésta, supuso un cambio radical en la forma que tenía el hombre de enfrentarse a la realidad y al mundo, por eso, al principio no fue aceptada con facilidad. A medida que fue mostrando su efectividad, la humanidad se fue aferrando a ella como si se tratara del remedio para todos los males del mundo. Hoy en día, sin dejar de reconocer sus logros, somos más escépticos a causa de las amenazas que de ella se han derivado.

Por todo esto, creemos necesario hacer patente el origen de este fenómeno que de forma tan importante se introdujo en nuestra cultura.

LA GÉNESIS DE LA ASTRONOMÍA MODERNA

DEL COSMOS ANTIGUO AL UNIVERSO MODERNO:

La imagen actual del Universo es relativamente reciente. Hay que situar su inicio hacia mitades del XVI con la formulación de la teoría Heliocéntrica de Copérnico, que cree que el Sol (helios) está en el centro del sistema planetario y que es la Tierra la que gira a su alrededor. Pero no fue hasta finales del siglo pasado y principios del nuestro, que el hombre se hizo consciente de las magnitudes reales del Universo.

Esta afirmación de Copérnico, el Heliocentrismo, supuso el derrumbe de uno de los cimientos más firmes sobre los que se sostenía la concepción antigua y medieval del mundo. Las consecuencias que de ella derivaron, cambiaron de un modo radical la concepción que el hombre tenía sobre el mundo en el que vive y sobre su propia naturaleza.

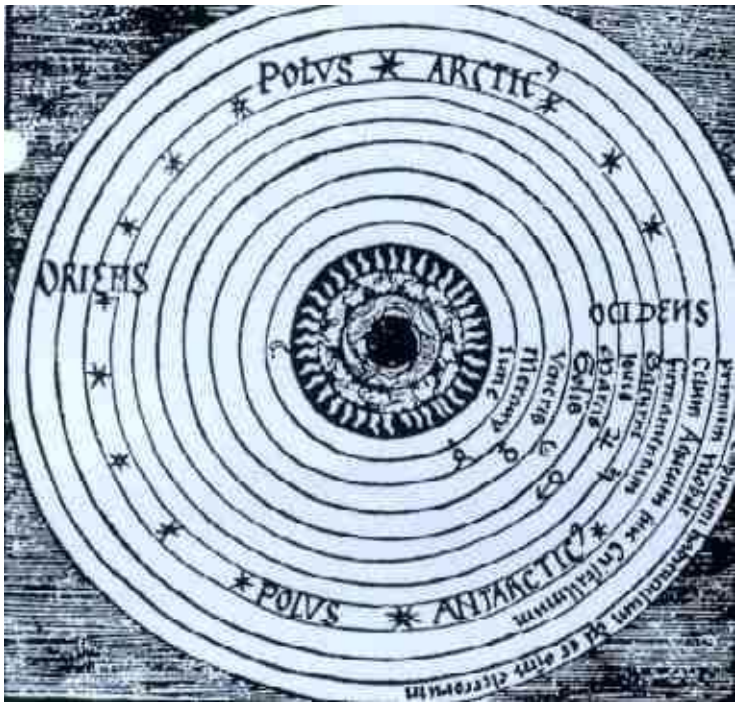
Apareció la ciencia moderna como alternativa a la visión antigua y medieval del mundo. Y para poder entender este cambio tan radical es necesario conocer:

1.- Las dos visiones, antigua y moderna, del mundo y los presupuestos ideológicos que las produjeron:

Desde la antigüedad hasta las proximidades de la época moderna, la humanidad había creído que el mundo era un COSMOS (orden en griego): unidad cerrada y finita formada por dos regiones radicalmente diferentes, Cielo y Tierra, regidas por leyes también radicalmente distintas.

A partir del Renacimiento la idea cerrada de Cosmos se fue agrandando en la mente humana y se convirtió en el UNIVERSO (totalidad en latín: “versus y “unum”, hacia la unidad): conjunto abierto y posiblemente infinito del ser, formado en su totalidad por los mismos componentes y regido por las mismas leyes, donde la Tierra no es más que uno de los innumerables cuerpos que pueblan el inmenso espacio.

ESQUEMA:Representación medieval del Cosmos:



2.- Las causas de que se creyera necesario impulsar tal cambio:

Un cambio tan radical no resultó fácil, y no se hizo posible hasta que el hombre pudo romper con las bases conceptuales sobre las que se fundamentaba la imagen anterior.

El cambio se inició con la revolución en la Astronomía, que exigió una revisión de toda la Física antigua, de ello se encargaron Copérnico, Galileo y Newton, que terminó con la formulación de un nuevo SISTEMA DEL MUNDO, donde Cielo y Tierra son regidos por las mismas leyes.

Este cambio consistió en:

- La elaboración de nuevas teorías sobre la realidad, como por ejemplo la “Ley de la Inercia” de Newton, que sólo podía entenderse alejada de la Cosmología antigua, ya que ésta se basaba en la experiencia sensible y la ley de la inercia es contraria a ella, ya que en el mundo no hay nada que una vez puesto en marcha continúe indefinidamente en línea recta con movimiento uniforme la.

- Sobretodo, una nueva forma de pensar e investigar la Naturaleza.

No es de extrañar, pues, que este cambio basado en leyes que contradicen la realidad de los sentidos, tardara tanto en producirse y posteriormente en ser admitido. Por lo tanto, no es casual que tal revolución se iniciara durante el Renacimiento, época histórica de grandes e importantes cambios en todos los ámbitos de la vida.

LA IMPORTANCIA DE LA OBSERVACIÓN DEL CIELO:

Desde siempre las civilizaciones han elaborado sus propias COSMOLOGÍAS, doctrinas que pretenden explicar como es el mundo, cuál es su origen, sus leyes, su evolución o incluso por qué es tal como es. Esto es debido a que para el hombre es decisivo tener una imagen global del mundo en el que vive.

Estas imágenes han ido cambiando conforme aumentaba el conocimiento sobre la Naturaleza, pero la mayoría permaneció durante largo tiempo bajo los mismos esquemas, ya que se basaban en fantasías y narraciones mitológicas, que a causa de su carácter sagrado tienden al inmovilismo e impiden un avance en el estudio de los fenómenos de la Naturaleza.

También eran diferentes las Cosmologías dependiendo de la zona y por lo tanto de las experiencias del territorio en el que vivía cada pueblo. Por de pronto desde cualquier lugar, la observación visual permite distinguir dos regiones diferentes:

- LA TIERRA, sobre la que el hombre vive y muere.

- EL CIELO, que queda lejos de su alcance.

Inicialmente las Cosmologías primitivas se basaron en los elementos del mundo terrestre, pero a medida que se descubrió la importancia de los astros en la vida humana (el cambio de estaciones, cuando arar, sembrar, como guiarse en sus viajes…), su observación y estudio aumentó e influyó en sus imágenes cosmológicas.

Las primeras civilizaciones que se dedicaron a una observación intensa del cielo fueron la Babilónica y la Egipcia, que con los siglos llegaron a una precisión predictiva admirable gracias a la importante acumulación de datos. Aún así, no podemos decir que elaboraran una ASTRONOMÍA, es decir, que construyeran modelos o hallaran leyes que justificaran el movimiento de los astros. Su interés estaba más cerca de lo pragmático, de la AASTROLOGÍA, estudiar como los astros influyen en los acontecimientos terrestres según su posición y aspecto en el cielo.

Así una vez más, fueron los Griegos los primeros que a partir de las observaciones de estas culturas, crearon una Cosmología más racional, es decir, que intentaba hallar causas naturales y no sobrenaturales (míticas) para los fenómenos naturales tales como los movimientos celestes.

LOS MOVIMIENTOS DEL SOL Y DE LA BÓVEDA ESTRELLADA:

Los movimientos que se observan en los cielos y que se producen cada día son:
DURANTE EL DÍA: el desplazamiento del Sol de Este a Oeste.
DURANTE LA NOCHE: el giro de la bóveda estrellada.
Debidos ambos, a la rotación de toda la bóveda celeste que cada día da una vuelta completa sobre nosotros.

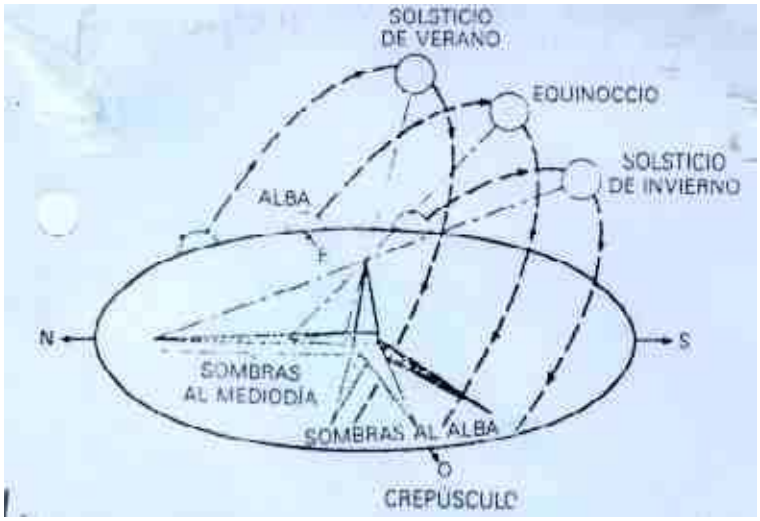
Pero existen otros movimientos. Por ejemplo, y teniendo en cuenta que las observaciones son hechas desde el hemisferio norte, los Babilonios observaron:

- Mediante un “gnomon” , aparato formado por una vara vertical colocada de manera que los rayos del Sol incidan sobre ella durante todo el día y puedan medirse así las sombras que proyecta, que el Sol no siempre recorre la misma ruta:
- en invierno pasa más cerca del horizonte.
- en verano sigue un camino más elevado.

Y concluyeron que el Sol era, pues, la causa de las estaciones.

ESQUEMA:

Distintas trayectorias del Sol a lo largo del año observadas desde un país del hemisferio Norte:



- Que el Sol no sale siempre, al alba, sobre el trasfondo de las mismas estrellas, sino que lo hace más hacia la izquierda cada día. Este desplazamiento continua hasta que al cabo de poco más de 365 días, vuelve a estar en la posición inicial. Si seguimos esta trayectoria sobre la bóveda estrellada obtendremos una línea circular que llamamos ECLÍPTICA, sobre la que se producen los eclipses de Sol y de Luna y que atraviesa una serie de constelaciones o agrupaciones fijas de estrellas que se conocen como la BANDA DEL ZODÍACO. Esta línea no es paralela al ecuador celeste (línea imaginaria que resulta de la proyección del ecuador terrestre sobre la bóveda celeste), sino que está inclinada 23º30' respecto a él, y esto es lo que explica las distintas alturas del Sol respecto al Horizonte a lo largo del año.

- Que las estrellas entre ellas, mantienen sus posiciones relativas, pero que todas daban cada día una vuelta alrededor de un punto, el polo norte celeste, que casi coincide con la estrella así llamada POLAR.

Este giro de la bóveda celeste arrastraba consigo todos los puntos de la eclíptica de manera que el Sol sigue un complejo movimiento helicoidal que se descompuso en dos:

1.- MOVIMIENTO DIARIO: rápido movimiento hacia el Oeste acompañando a las estrellas fijas.

2.- MOVIMIENTO ANUAL: lento y simultáneo desplazamiento hacia el Este con respecto a las estrellas a lo largo de la eclíptica.

LAS EXPLICACIONES ALTERNATIVAS:

A continuación exponemos las explicaciones que se dieron a estos dos movimientos anteriormente mencionados.

Movimiento Diario:

El movimiento diario del Sol junto con el giro de las estrellas, presentó ya en época de los Griegos dos explicaciones:

1.- La Tierra estaba fija y la bóveda celeste daba una vuelta cada día alrededor de ella.

2.- La Tierra giraba en torno a su eje y la bóveda celeste permanecía fija, era la ROTACIÓN, que aunque defendida por algunos pitagóricos resultó insostenible ya que se contradecía con:

Los hechos observados y con el sentido común: nosotros vemos como el Sol sigue cada día su camino y como el cielo nocturno gira sobre nuestras cabezas.

La razón; ya que ya en el siglo III a.C. ERATÓSTENES calculó el radio de la Tierra, de lo que dedujo que para dar cada día una vuelta sobre sí misma tendría que rotar a tal velocidad que necesariamente deberíamos notarla. Y por lo tanto, se producirían efectos que en la realidad no se perciben.

Movimiento Anual:

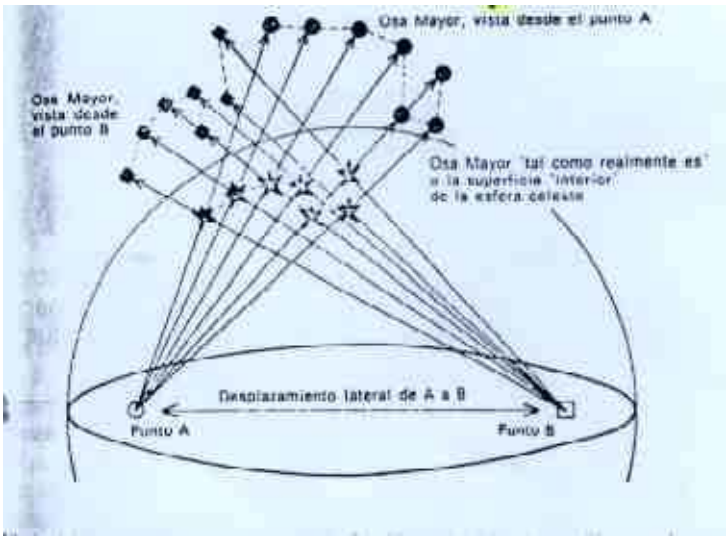
El movimiento anual del Sol a lo largo de la eclíptica también tubo dos explicaciones:

1.- El Sol efectuaba realmente este recorrido cada año y daba una vuelta alrededor de la Tierra.

2.- La Tierra se trasladaba alrededor del Sol, la TRASLACIÓN.

ESQUEMA:

Dibujo del paralaje estelar.



Esta última, la actual, la formuló ARISTARCO DE SAMOS, pero no prosperó, ya que se encontró ante varias dificultades insolventables, la más importante de las cuales consistía en que, si la Tierra se trasladaba, debía hacerlo en un radio tan grande que a la fuerza debía notarse el PARALAJE ESTELAR, es decir, cambios en la configuración de las constelaciones provocados por cambios en el ángulo de visión, cosa que no sucedía.

Así pues, la explicación que se aceptó y que desde entonces dominó el pensamiento humano durante toda la Antigüedad y el Medievo, fue que la Tierra estaba en el centro del Cosmos y el Cielo daba vueltas a su alrededor. Junto a esta explicación encontramos que la idea que el hombre antiguo se formó sobre el Universo fue que toda la realidad física estaba constituida por dos esferas, la TIERRA, situada en el centro geométrico de OTRA muchísimo mayor, en la que se encuentran fijas las estrellas y más allá de la cuál, no hay nada, ni materia ni espacio.

EL PROBLEMA DE LOS PLANETAS:

Esta concepción tan simple del Universo de dos esferas, se hubiera podido mantener sino hubiera sido por la observación de un fenómeno que planteó graves problemas a la hora de ordenar los movimientos de las esferas celestes y de mantener la visión anteriormente mencionada del mundo.

Este fenómeno consistía en la existencia de “estrellas” muy peculiares que fueron llamadas PLANETAS (errante), precisamente porque no mantenían su distancia con las

otras estrellas, sino que se movían con trayectoria irregular. Se caracterizaban por lo siguiente:

- en líneas generales su comportamiento era como el del Sol, por lo que éste fue considerado también como un planeta, aunque más complejo y peculiar.

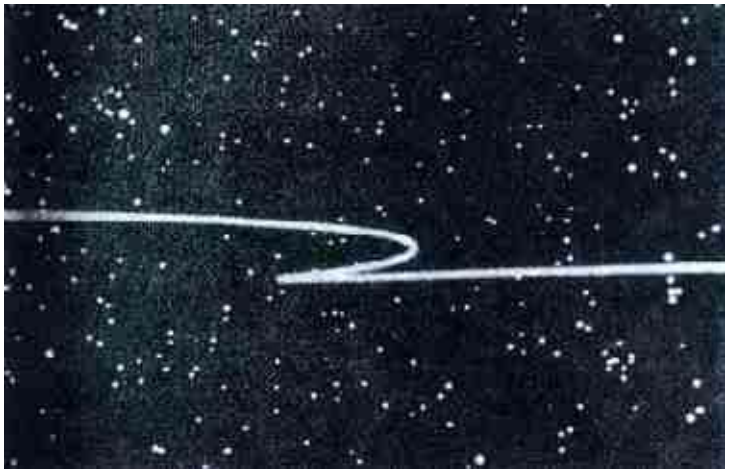
- efectúan un movimiento diario hacia el Oeste que participa del de las estrellas fijas.

- tienen otro movimiento anual (término referido aquí no al año terrestre sino al tiempo que tarda cada planeta en retornar a una misma posición en el cielo), mucho más lento y hacia el Este.

- menos el Sol y la Luna los otros cinco planetas, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, los observables a simple vista, no siempre se desplazan en sentido Este. Durante ciertos intervalos de tiempo van perdiendo velocidad hasta que parecen parar e invierten el sentido de su marcha, en un movimiento de retroceso y deteniéndose de nuevo, vuelven a invertir su sentido retornando al inicial. De este modo, su trayectoria forma una especie de bucle que se conoce con el nombre de RETROGRADACIÓN.

FOTO:

Rastro dejado por un planeta en una de sus retrogradaciones, simulado en un planetario.



Entonces, si el Cosmos estaba formado por tan sólo dos esferas las órbitas planetarias deberían mantener la simetría esférica, cosa que según el fenómeno de la retrogradación no ocurría. Esto demostraba que los planetas no podían considerarse fijos en el interior de la esfera como las demás estrellas, ya que seguían distintas trayectorias a través de las mismas. Se movían en su interior, pero ¿dónde se hallaban y que los sostenía?

Para dar respuesta a esto se aceptó la idea pitagórica de que los planetas estaban engastados en unas bandas esféricas encajadas unas dentro de otras, que giraban en torno al centro del mundo, que para ellos no era el Sol sino el “fuego central”, mientras cada uno transportaba su planeta. Pero según esto todas las trayectorias planetarias tendrían que ser circulares, lo cual no concordaba con lo observado realmente.

Inicialmente no se prestó demasiada importancia a tales irregularidades, las cuales se consideraron ínfimas puesto que todos los planetas acababan retornando a sus órbitas. Después, a medida que fueron aumentando y precisándose las observaciones, se hizo necesario construir un modelo que justificara ese comportamiento por parte de los planetas.

PLATÓN:

I. BIOGRAFÍA:

(Atenas 427 - 347 a.C.)

Platón nace en el seno de una familia noble, y toma parte activa en la vida pública de su tiempo, pero su grande y definitiva vocación es la filosofía, a la que se siente atraído por la irresistible personalidad de Sócrates. La muerte de éste le hace apartarse definitivamente de la política activa, si bien buena parte de su pensamiento está dedicado a ella, y consagrarse por entero a la filosofía. Hacia el 387 a.C. Se establece en un jardín de Atenas dedicado al héroe Academo, de donde procede el nombre de Academia con que se conoce su escuela. Allí realiza, hasta su muerte, una fecunda labor intelectual, en la que participó activamente su discípulo Aristóteles.

II. LOS POSTULADOS PLATÓNICOS:

Las principales bases conceptuales sobre las que se asientan todos los estudios astronómicos posteriores fueron enunciadas por Platón y se resumen en:

1.- La Tierra es esférica, es inmóvil y está en el centro del Universo (geoestaticismo y geocentrismo).

2.- Los movimientos de los astros deben ser circulares y uniformes.

3.- Los astros no pueden tener otro movimiento o cambio que ese movimiento circular, ya que como para Platón los astros son considerados divinos el movimiento que más se asemejaba a la inmovilidad era el circular y uniforme.

Estos principios, como ya hemos dicho anteriormente, fueron tomados como axiomas y condicionaron los estudios astronómicos posteriores, de manera que no se discutieron o pusieron en duda hasta la revolución copernicana. Por eso, la tarea astronómica postplatónica consistió en hallar un modelo que explicara los movimientos observados partiendo de dichos principios. Se trataba de contestar la pregunta siguiente, ¿qué tipo de movimiento circular y uniforme es el de los planetas que hace que nos parezca que se mueve de forma distinta? Observamos, por lo tanto, que para los astrónomos antiguos, los planetas no se mueven de forma irregular, sino que sólo lo parece y sus movimientos son, pues, circulares y uniformes. Buscaban un modelo que justificase esta no correspondencia entre lo que realmente sucede y lo que vemos.

Así pues, este planteamiento parece ofrecernos una visión INSTRUMENTALISTA de la ciencia , es decir, parece que la ciencia no pretenda explicar tal y como realmente ocurren los hechos, sino que simplemente trate de hallar modelos explicativos que nos den razón de lo que aparentemente vemos.

LA COSMOLOGÍA ANTIGUA Y LOS MODELOS ASTRONÓMICOS PRECOPERNICANOS

EL MODELO EUDOXIANO DE LAS ESFERAS HOMOCÉNTRICAS:

Fue EUDOXO DE CNIDO el primero de los astrónomos de la Academia Platónica que elaboró un modelo explicativo al problema planteado por su maestro, este modelo era el de las ESFERAS HOMOCÉNTRICAS, que explicaremos a continuación:

- Si el movimiento del planeta fuera el resultado del movimiento de una sola esfera, no habría modo de explicar sus complejos movimientos y por ello suponía que el movimiento de cada planeta no era provocado por la rotación de una sola esfera, sino de varias, que girando a velocidades distintas y en torno a ejes de diferente inclinación, daban como resultado el movimiento observado.

- Para explicar el movimiento de los planetas retrógrados, este modelo consideraba que eran necesarias cuatro esferas para cada uno de ellos:

- Una, la más exterior, que daba una vuelta cada día en sentido Oeste y producía el movimiento diario, teniendo por lo tanto su eje de rotación Norte-Sur.

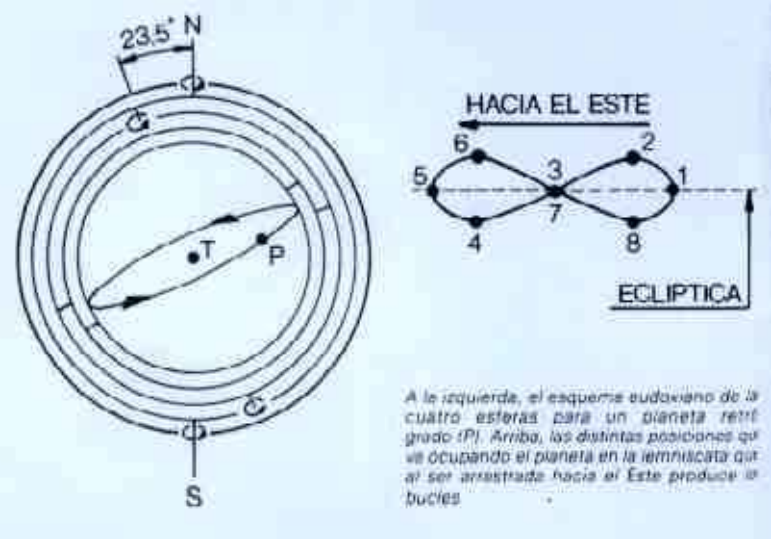
- Otra que, encajada dentro de la primera, giraba en sentido Este con su eje de rotación inclinado 23º30’ con respecto al eje anterior. Su velocidad era mucho más lenta porque determinaba el movimiento anual del planeta.

- Dos más para las retrogradaciones, que se encontraban dentro de la anterior y que poseían ejes distintos que giraban a la misma velocidad pero en sentido opuesto. Su periodo de rotación era igual al tiempo que separaba dos retrogradaciones del planeta.

Estos dos movimientos combinados generaban un movimiento de ida y vuelta que describía una trayectoria en ocho, la LEMNISCATA, que no se completaba debido al desplazamiento Este de la segunda esfera y que producía los bucles y cambios de velocidad de las retrogradaciones del planeta.

ESQUEMA:

Esquema eudoxiano de las cuatro esferas para un planeta retrógrado y las posiciones de los planetas en la Lemniscata.



De este modo, y según este modelo, el Cielo estaba formado por 27 esferas concéntricas:

- 1 para las estrellas fijas

- 4 para cada uno de los 5 planetas retrógrados (Marte, Júpiter, Venus, Mercurio y Saturno).

- 3 para el Sol y 3 para la Luna, que no necesitaban la interior porque no tenían retrogradaciones.

Así pues, Eudoxo logró dar una explicación racional y plausible a las extrañas trayectorias aparentes de los planetas, a partir de movimientos circulares y uniformes, lo que contribuyó a reafirmar la idea de la divinidad del Cielo.

Posteriormente, este modelo pasó a ser llamado de Eudoxo y Calipo, ya que este último lo completó añadiendo, por razones técnicas, 7 esferas más.

ARISTÓTELES:

I. BIOGRAFÍA:

(Estagira 384 - Calcis 322 a.C.)

Hijo de un médico del rey Filipo de Macedonia. Ingresa muy joven en la Academia de Platón, siendo el más profundo de admirador de su maestro y también su crítico más severo. Llamado a la corte de Filipo para ser preceptor de Alejandro, regresa a Atenas cuando Alejandro sucede a su padre en el trono. Funda entones el Liceo y enseña allí durante 13 años. La reacción ateniense a la muerte de Alejandro le obliga a exiliarse.

Aunque la mayor parte de sus escritos se han perdido, su doctrina ha tenido mayor influjo en la historia que la de ningún otro pensador hasta el presente.

Su división de las ciencias en teóricas, prácticas y poéticas, y sus esquemas lógicos se han mantenido durante muchos siglos y aún hoy perduran en no pocos aspectos.

EL PLANTEAMIENTO ARISTOTÉLICO:

Como ya hemos dicho antes, en la Grecia antigua se formularon diversas Cosmologías, pero fue la aristotélica la que prevaleció hasta el Renacimiento y contra la que se alzaría la revolución científica moderna.

Básicamente, lo que aportó Aristóteles a la cosmología fue una gran sistematización y ajuste, además de un fundamento racional y teórico a muchas ideas anteriores sobre el Cosmos.

Podemos resumir a grandes rasgos el planteamiento de Aristóteles del siguiente modo. Según él, todo lo que existe se encuentra dentro de una gran esfera en cuya superficie interna están fijas las estrellas. Fuera de ella no hay nada y en su interior todo es lleno. En su mayoría está constituida por un elemento, llamado ÉTER, que significa estar siempre en movimiento, distribuido en un conjunto de capas esféricas concéntricas que

están en contacto entre sí, que son las esferas planetarias. La más distante a la Tierra y que limita con la superficie interior de la esfera de las fijas es la de Saturno y la más cercana es la de la Luna. Así, el Cosmos aristotélico queda dividido en dos grandes mundos radicalmente distintos y que debe ser objeto de distintas ciencias:

- EL CELESTE O SUPRALUNAR: el Cielo, perfecto, puede recibir tratamiento matemático, la Astronomía.

- EL TERRESTRE O SUBLUNAR: la Tierra, mundo de pluralidad y cambio, debe ser estudiada de modo cualitativo.

III. LA ASTRONOMÍA:

Para Aristóteles el éter era el elemento celeste, única sustancia de la que están hachas las estrellas, los planetas y las esferas que los transportan. Era considerado un sólido cristalino que tenía características divinas: era puro, inalterable, inengendrado e inmutable, ya que el único movimiento que podía convenirle era aquel que permaneciera siempre igual, es decir, el circular y uniforme. Pero tal exigencia teórica no concordaba con las observaciones prácticas y por eso Aristóteles aceptó el modelo de Eudoxo y Calipo para explicar la estructura de los movimientos celestes, pero buscando una justificación física o mecánica, lo modificó.

Finalmente, Aristóteles concluyó que: el movimiento existente en el Universo provenía de la esfera de las fijas, que era causado por un Motor Inmóvil, es decir, que mueve todos los demás y ninguno lo mueve a él. Este movimiento de la esfera de las fijas se iba transmitiendo a todo el sistema hasta el mundo sublunar. Aún así, se presentó un problema: al entrar en contacto los diversos grupos de esferas, el movimiento de las esferas de un planeta alteraría el de las del planeta encajadas dentro. Para solucionar esto, Aristóteles supuso que entre las esferas de un planeta y el planeta vecino tenía que haber un grupo de esferas con los mismos ejes y períodos de rotación pero con giro contrario para compensar el arrastre. De este modo, al sistema de 34 esferas de Eudoxo Y Calipo, él añadió 22 más que eran totalmente superfluas, porque su única función era proporcionar conexiones mecánicas para mantener el sistema de rotación.

LA FÍSICA:

1.- Los cuatro elementos y los lugares naturales:

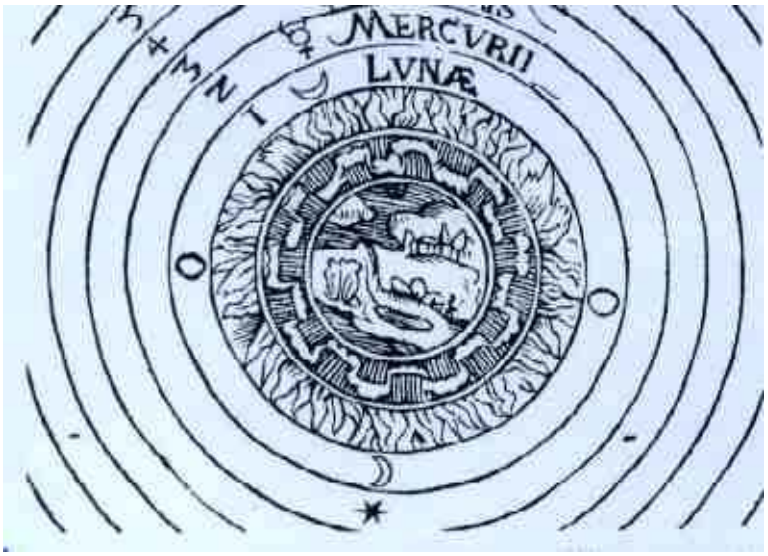
Si seguimos adentrándonos en la cosmología aristotélica, observamos que para él, a partir de la esfera de la Luna se halla la región terrestre que es menos extensa y está formada por cuatro elementos distribuidos en capas concéntricas que, de arriba a abajo siguen el orden siguiente: FUEGO, AIRE, AGUA y TIERRA. Teniendo en cuenta, claro está, que para Aristóteles los términos *Arriba* y *Abajo* tiene un sentido diferente al actual. Para él, existen dos lugares absolutos:

- ARRIBA que es la superficie de la esfera cósmica.
- ABAJO que es su centro.

A cada elemento le corresponde, pues, una zona determinada, su LUGAR NATURAL.

Aunque esta distribución se mantiene, como la región sublunar no está nunca en calma, el giro de la esfera lunar remueve la capa de fuego situada debajo de ella, creándose unas corrientes que provocan la mezcla de los elementos, de la cual y dependiendo de las proporciones de los mismos, se crean las sustancias que se conocen (madera, carne, piedra…).

ESQUEMA: Representación de la región sublunar con los cuatro elementos:



Por este motivo, hay partes de los elementos que siempre son desplazados, aunque no sin resistencia por su parte, y por ello tratan de volver a su lugar natural por el camino más corto, en línea recta. Aristóteles diferenció, pues, entre:

- MOVIMIENTOS VIOLENTOS: transportan los elementos fuera de sus lugares.
- MOVIMIENTOS NATURALES: mediante los que los elementos retornan a sus lugares. Éstos, siempre son verticales y su sentido depende del elemento:

- Tierra y Agua tienden hacia abajo, por lo que son llamados PESADOS o GRAVES.
- Fuego y Aire tienden hacia arriba y se califican de LIGEROS o LEVES.

De todo esto se deduce el GEOCENTRISMO que marcó la cosmología aristotélica, ya que como resultado de la teoría anterior, Aristóteles dedujo que la Tierra, elemento más pesado, tenía que estar, por fuerza, en el centro del mundo y ser inmóvil.

2.- Concepto del cambio:

De forma introductoria en este punto, diremos que la física aristotélica es el estudio del funcionamiento del mundo sublunar y viene determinada por su concepto de cambio o movimiento.

Hay que señalar que para Aristóteles el movimiento no es un estado sino un proceso que tiende al reposo, que es el estado propio de todos los seres. La experiencia nos dice que las cosas se encuentran en reposo y que cuando alguna cambia es porque algo la ha impulsado con algún fin, adquirir un nuevo estado o llegar a algún sitio.

Partiendo, como hemos dicho antes, de que el movimiento no es un estado sino un proceso, podemos decir que no consiste únicamente en un cambio de posición relativa respecto de los cuerpos circundantes, tal y como indica la ciencia moderna, sino en la recepción por parte de un móvil de una cualidad que no tenía. De aquí se deducía que un cuerpo no puede ser afectado por dos movimientos contrarios, de diferente naturaleza, porque no se aceptaba la composición de movimientos y entonces se obstaculizarían.

Para redondear este punto podemos decir que Aristóteles distinguió cuatro tipos de movimiento o CAMBIO, que son:

- SUBSTANCIAL (generación y corrupción): cuando un ser se transforma en otro, como quemar un trozo de madera.
- CUALITATIVO: cambiar de cualidades, como una hoja verde que se torna amarilla.
- CUANTITATIVO: cambiar de cantidad o tamaño, como un árbol que crece.
- LOCAL: cambiar de lugar, sitio o posición, como una mujer que va de casa al campo.

3.- Leyes aristotélicas del movimiento:

Hay un conocido principio aristotélico que dice que “todo lo que se mueve es movido por otro” y que se explica porque para que un cuerpo se mueva o adquiera un nuevo estado es necesario un motor o causa. Estos motores pueden ser externos o internos al móvil, según se traten de movimientos violentos o naturales. En estos últimos, la aceleración que se observa es debida al “deseo” del móvil de llegar a su lugar, que es intensificado a medida que se acerca a él.

Como en la cosmología aristotélica todo el espacio es lleno, todo cuerpo que se desplace tiene que ir apartando los obstáculos que encuentra en su camino y, por eso, su velocidad dependerá de su peso, a más peso mayor velocidad, y de la resistencia que oponga el medio, a más densidad menor velocidad. A partir de este razonamiento Aristóteles enunció el principio que sigue:

“La velocidad de un cuerpo es directamente proporcional a su peso e inversamente proporcional a la resistencia del medio.”

Como ya hemos dicho, los único movimientos naturales de la región sublunar son los verticales, los demás son siempre violentos y, por tanto, producidos por una fuerza o motor externo que está en contacto con el móvil. De aquí se deduce que el movimiento sólo podrá darse mientras dure la acción del motor, y por eso Aristóteles no pudo hallar ningún principio satisfactorio para explicar, a partir de los principios anteriores, por qué se mueven los proyectiles una vez que pierden contacto con el motor.

LA UNIDAD DEL SISTEMA COSMOLÓGICO:

Para Aristóteles el mundo es un COSMOS, un gran sistema ordenado jerárquicamente de arriba a abajo donde cada cosa tiene su lugar y hay un lugar para cada cosa.

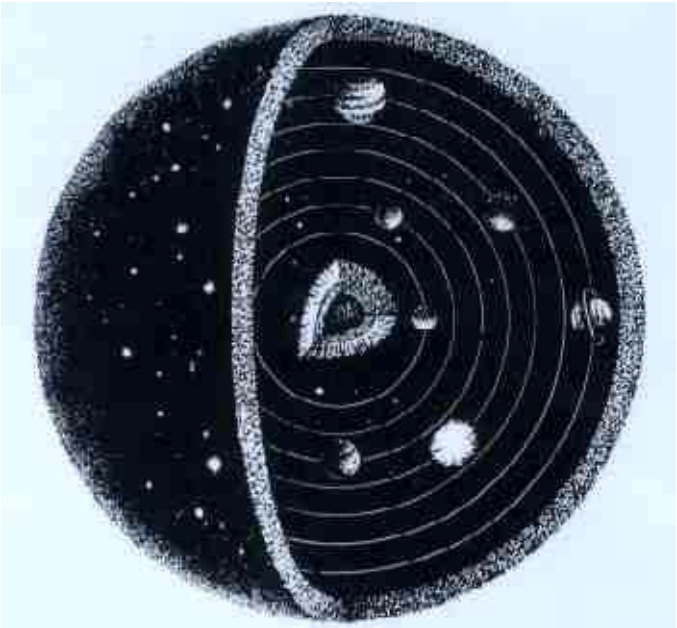
Un cosmos formado por dos regiones radicalmente distintas :

- La celestial, inmutable y perfecta.
- La terrestre, dominada por la generación y la corrupción.

Pero que tanto una como la otra son necesarias, pues cada una tiene su razón de ser y cumple una función. Por eso, aunque cada una tiene sus leyes, hay una unidad radical entre ellas, ya que derivan de los mismos principios básicos del ser.

ESQUEMA:

Imagen general del Cosmos aristotélico con un corte que muestra el interior.



BASES EPISTEMOLÓGICAS DE LA COSMOLOGÍA ARISTOTÉLICA:

Antes de entrar en la materia perteneciente estrictamente a este apartado del tema, las autoras consideran necesaria la aclaración del término EPISTEMOLÓGICO. Este vocablo procede del griego “epistema” que significa ciencia y que se refiere aquí, a los principios básicos que fundamentan el conocimiento y le dan validez. La Epistemología se ha entendido tradicionalmente como la disciplina que trata de la posibilidad, fundamentos, naturaleza, valor y límites del conocimiento, pero actualmente se reserva este nombre al análisis del conocimiento científico.

Una vez realizada esta aclaración, nos introduciremos en materia. La física aristotélica se fundamenta en dos principios epistemológicos:

1.- En la PERCEPCIÓN SENSIBLE, que es antimatemática. Expliquemos esto en varios puntos:

La finalidad de la física es explicar el mundo concreto y real, en cambio la matemática es una abstracción de carácter mental.

El mundo físico de los sentido es móvil y cualitativamente diferenciado; el mundo de los números y las figuras geométricas no tiene cualidad ni cambio, sólo cantidad.

La física aristotélica no puede admitir la posibilidad de identificar el espacio concreto del Cosmos finito, diferenciado y jerárquicamente ordenado con el espacio ilimitado homogéneo y uniforme de la Geometría.

Las formas de los cuerpos del mundo real son muy variadas, pero aún así, casi nunca tienen formas geométricas, nada es cuantificable matemáticamente, sólo “más o menos” y por eso los problemas de física no pueden tratarse de forma general.

2.- En la EXPERIENCIA que el hombre tiene de su propia actuación. Se establece una analogía entre las causas de la conducta humana y las causas del funcionamiento de la Naturaleza. De ahí que el movimiento de todos los seres, incluso los inanimados, se explica de manera parecida al de los hombres. A este modo de interpretar el movimiento se le llama FINALISMO o TELEOLOGISMO, se considera que las causas explicativas son las finales: la razón del movimiento se busca en la finalidad que persigue.

Estas son, pues, las dos principales bases de la Física aristotélica:

- VISIÓN CUALITATIVA del ser.
- VISIÓN TELEOLÓGICA del movimiento.

La fuerza convincente de estos principios basados en el sentido común y la coherencia lógica, es la causa de que hayan perdurado las teorías aristotélicas durante tantos siglos.

INSUFICIENCIAS DE LA COSMOLOGÍA ARISTOTÉLICA:

No podemos decir que fueran muchas, ya que en general el sistema cosmológico de Aristóteles respondió a las exigencias explicativas del mundo de la experiencia cotidiana, pero dejó algunas lagunas principalmente en el mundo supralunar y sublunar:

SUPRALUNAR:

La principal dificultad del mecanismo de las esferas homocéntricas se encontró en su falta de precisión cuantitativa, lo que lo hacía inservible a la hora de explicar los cambios de tamaño y brillantez de los planetas según las épocas, de hacer predicciones de futuras posiciones de los astros o de computar el tiempo.

SUBLUNAR:

La principal dificultad se encontró al intentar explicar el “cómo” del movimiento de los proyectiles: sus cambios de velocidad, aceleración si van hacia abajo y desaceleración si van en horizontal y sus trayectorias oblicuas, que Aristóteles, pese a la evidencia, despreció como verticales.

A pesar de esto, puesto que lo que su teoría no explicaba era menor que lo que sí hacía, ésta no tuvo problemas de supervivencia hasta la llegada de hombres como Copérnico y Galileo.

PTOLOMEO:

BIOGRAFÍA:

(Tolemaida Hermia 90 - Canope 168)

Claudio Ptolomeo:

Astrónomo, matemático y geógrafo griego, el último entre los más importantes de la Antigüedad. Su obra astronómica tuvo una gran influencia en la Edad Media; se ha comparado a la de Aristóteles en filosofía. Se desconoce casi toda su biografía. Sólo sabemos con certeza que vivió y trabajó en Alejandría. Su mérito principal reside en haber sintetizado el saber astronómico y matemático de la época en su *Gran Sintaxis* o *Composición Matemática*, también conocida por *ALMAGESTO* (nombre de la traducción árabe) que se compone de 13 libros.

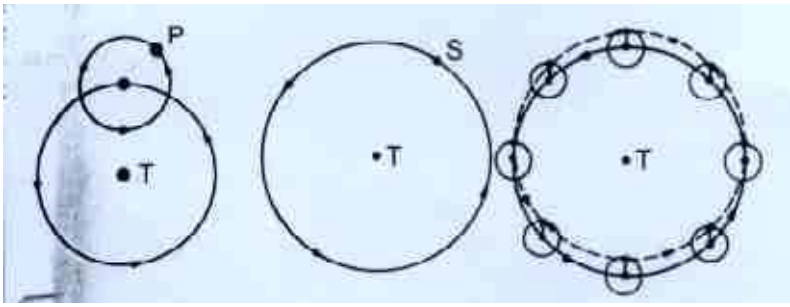
UN NUEVO MÉTODO:

El ingenioso método astronómico Eudoxiano estaba bastante limitado y ya no daba más de sí. Así, surgió la necesidad de busca nuevos modelos astronómicos que dieran cuenta de aquello que todavía no se podía explicar.

Hacia la mitad del siglo II Ptolomeo publicó en el libro “ALMAGESTO”, un sistema astronómico que fue aceptado y usado hasta Copérnico. En él hizo una descripción completa de la teoría astronómica de Apolonio y Hiparco. Se basaba en el método de "EPICICLO - DEFERENTE"; llamándose Epiciclo a la trayectoria circular de un punto de alrededor de un centro móvil que sigue una trayectoria Deferente.

ESQUEMA:

Sistema básico del epiciclo-deferente y explicación de la excentricidad por el movimiento epicíclico.



FENÓMENOS EXPLICADOS:

Con esta combinación de movimientos podían explicarse los siguientes fenómenos:

EXCENTRICIDAD:

Si la Tierra es el centro geométrico de la órbita circular del Sol, no hay modo de explicar algunas irregularidades de su movimiento anual:

- Un supuesto movimiento sobre la eclíptica más rápida en invierno que en verano.
- Que su tamaño se vea algo mayor en invierno que en verano.

Estas anomalías se solucionan suponiendo que el Sol no se mueve directamente alrededor de la Tierra sino alrededor de un pequeño epiciclo que gira en sentido opuesto al deferente. Esta excentricidad es la que hace que unas veces quede más alejado de la Tierra, verano, y se vea más pequeño.

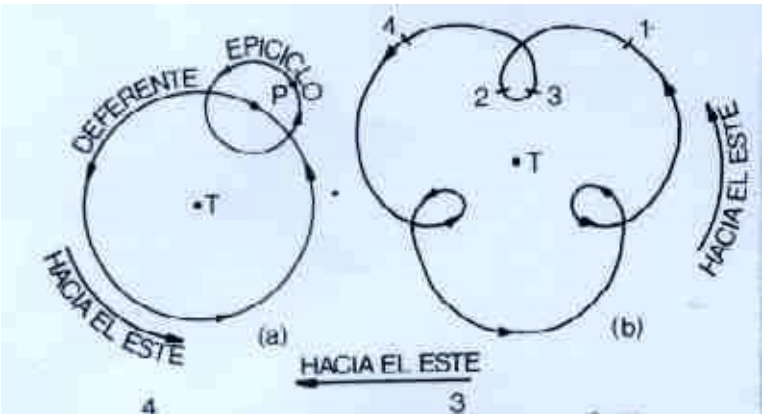
RETROGRADACIONES DE LOS PLANETAS:

Aunque este fenómeno ya se explicaba cualitativamente con el método eudoxiano, este otro método supuso una mayor simplicidad y precisión cuantitativa.

Para entenderlo, supongamos un ejemplo: el deferente con centro en la Tierra gira hacia el Este en le plano de la eclíptica y mientras da una vuelta, el planeta del epiciclo da tres en el mismo sentido; resulta una curva cerrada con tres bucles hacia el interior de la misma. De manera que un observador situado en la Tierra no observará estos bucles sino un movimiento retrógrado de avance, retroceso y avance.

ESQUEMA:

Sistema básico del epiciclo-deferente y visión del mismo para un observador que se encuentra en la Tierra.



EL CAMBIO DE BRILLO Y TAMAÑO DE LOS PLANETAS:

Cuando el planeta se encuentra en el interior del deferente queda más alejado de la Tierra y, cuando está en la parte interna, más próximo. Esto, coincide con los fenómenos observados, pues el mayor brillo de los planetas coincide con sus movimientos retrógrados.

IV. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE ESTE MODELO:

Aunque no hay ningún planeta que realice exactamente los movimientos ideales que acabamos de explicar, este método a diferencia del de las esferas homocéntricas, posee la gran ventaja de ser un MÉTODO RECURSIVO, y ajustando radios, velocidades y sentidos de giro puede generarse un número muy elevado de movimientos.

Así Ptolomeo pudo ajustar cuantitativamente las trayectorias y predecir, con gran exactitud, las posiciones futuras de los planetas. Cuando con el tiempo hubo más información sobre los movimientos celestes, aparecieron desajustes que se podían explicar realizando las anteriores correcciones, pero de este modo el sistema resultaba cada vez más complejo y difícil de manejar.

Ptolomeo empleó otros artificios, el más importante de los cuales es le PUNTO ECUANTE, que justificaba el hecho de que el movimiento del planeta no se observaba desde la Tierra con velocidad uniforme, no desde la Tierra, pero sí desde el Ecuante.

Podemos decir que las ventajas de este método, su precisión matemática y su gran capacidad de ajuste, son las que hicieron que se conservara durante toda la Edad Media.

Su inconveniente más claro es que el Almagesto no presenta un sistema astronómico en el sentido pleno de la palabra, ya que debe tratar de manera diferente a cada planeta.

Esta no sistematización y la necesidad del Ecuante fueron los motivos que impulsaron a Copérnico a la búsqueda de un buen sistema.

IV. LA EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA DURANTE LA EDAD MEDIA:

El Occidente europeo rompió en la Alta Edad Media con la cultura clásica y Helenística.

En el Imperio de Oriente sin embargo, nos e produjo tal ruptura y así, fueron los árabes los depositarios de la cultura griega hasta el Renacimiento europeo.

Hacia el siglo XII con la penetración islámica en Occidente comenzaron a circular en la sociedad cristiana obras de Aristóteles y Ptolomeo.

Se aceptó, pues, la cosmología aristotélica-ptolomeica, aunque con algunas modificaciones científicas y religiosas. De este modo, a finales de la Edad Media coexistían dos modelos cosmológicos para explicar los movimientos celestes, el EUDOXIANO-ARISTOTÉLICO (visión físico-mecánica) y el PTOLOMEICO (visión matemática).

LA REVOLUCIÓN ASTRONÓMICA

COPÉRNICO:

BIOGRAFÍA:

(Thorn 1473 - Frauenberg 1543)

Nicolás Copérnico:

Astrónomo polaco de origen alemán. Su tío materno le orienta hacia la carrera eclesiástica, pero no hay constancia de que recibiera las Órdenes. Estudia filosofía y medicina en la universidad de Cracovia y derecho en las de Florencia, Padua y Ferrara, donde se doctora. En 1515 recibe un encargo para hacer la reforma del calendario, pero renuncia por creerse falto en saberes. Escribió la obra "*De revolutionibus orbium coelestium".*

LOS DEFECTOS DE LA ASTRONOMÍA TRADICIONAL:

Copérnico propuso un sistema alternativo al modelo ptolomeico. Las causas:

el callejón en el que estaba la astronomía medieval.

la no sistematicidad del modelo ptolomeico.

la artificiosidad de algunos conceptos como el punto ecuante.

Copérnico había encontrado referencias a las creencias pitagóricas, todo lo cual le sugirió la posibilidad que fuera el Sol y no la Tierra quien ocupara el centro del Universo.

LAS INNOVACIONES COPERNICANAS:

Así, Copérnico emprendió la difícil tarea de construir un nuevo sistema astronómico centrado en el Sol y con él, todos los cálculos que derivan de la nueva distribución de los astros.

En su libro *"De revolutionibus orbium coelestium"* introdujo las siguientes innovaciones:

- La Tierra es un planeta, y no está en el centro del Universo.
- En el centro del Universo está inmóvil, el Sol.
- Los planetas y las esferas que los transportan, giran alrededor del Sol según el orden: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno.
- La Luna no gira directamente alrededor del Sol sino de la Tierra.
- La Tierra está afectada por tres movimientos: ROTACIÓN, sobre su eje; TRASLACIÓN, alrededor del Sol; TREPIDACIÓN, el eje terrestre se desplaza cónicamente alrededor del polo celeste (equinoccios).
- La esfera de las estrellas fijas es inmóvil y está mucho más lejos de lo que exige el geocentrismo y por eso no se observa el paralaje.

Este sistema proporciona una explicación general, simple y sistemática del Universo, eliminando artificiosidades y explicando de igual modo los movimientos de todos los planetas. Se consigue explicar de forma diferente y más simple fenómenos como:

- Muchos de los movimientos observados en el cielo no son propios de él, sino que son el reflejo de los de la Tierra (la revolución de la bóveda celeste, el movimiento anual del sol).
- las retrogradaciones: cuando se ve retrogradar un planeta no es que cambie de sentido, sino que la Tierra, desde donde lo observamos, lo adelanta o es adelantada.

ASPECTOS TRADICIONALES DE LA OBRA COPERNICANA:

Hay una gran desproporción entre lo que Copérnico se propuso y lo que logró, y aunque podemos situar su obra en el primer escalafón de la cadena, también hemos de considerar que esta contiene elementos, aún tradicionales:

- la imagen del Cosmos es la misma.
- la estructura interna también es la misma.
- el movimiento de las esferas aún es circular uniforme.
- aún se usan los epiciclos para explicar las excentricidades.
- sigue dentro de la tradición aristotélica en los aspectos cosmológicos, lo que le supuso no poder rebatir los argumentos en contra suyo.

LA DISCUSIÓN DEL HELIOCENTRISMO:

EL PROBLEMA BÁSICO:

El problema fundamental del Heliocentrismo, es que tenía tantas pruebas para ser creído como todas las teorías anteriores, y eso hizo que no fuera aceptada por los pocos astrónomos para quienes tenía unos valores fundamentales, y la mayoría la tomaron puramente como hipótesis.

El problema más importante que arrastraba era que destruía uno de los pilares básicos de la concepción medieval del mundo.

OBJECIONES RELIGIOSAS:

El Heliocentrismo modifica el esquema de las relaciones entre el hombre y la divinidad, por ello, las autoridades religiosas buscaron argumentos contrarios a ella en las Sagradas Escrituras.

La lucha de la Iglesia iba encaminada sobretodo a la defensa de la autoridad frente a la razón, de su autoridad.

OBJECIONES CIENTÍFICAS:

La mayoría ya fueron pronunciadas por los Antiguos contra los pitagóricos, son:

- No se observa el paralaje estelar.
- Si la tierra se mueve debe hacerlo a gran velocidad que no notamos.
- Debería ponerse incandescente si rotara a tal velocidad.
- Los cuerpos deberían caer oblicua y no verticalmente.
- Como cuerpo pesado debería caer hacia el Sol.

LAS RESPUESTAS DE COPÉRNICO:

Las respuestas de Copérnico han de considerarse tan sólo como contra argumentos poco convincentes:

- El movimiento de la Tierra es natural y por eso no cae ni se desintegra.
- Los cuerpos pesados caen verticalmente porque participan del movimiento natural de la Tierra.
- Sería la bóveda de las fijas, si girara, y no la Tierra, la que se pusiera incandescente.
- No se observa el paralaje porque puso la bóveda de las fijas a una distancia lo suficientemente grande de la Tierra.

CONSECUENCIAS DE LA OBRA COPERNICANA:

La obra de Copérnico representa el primer paso de la revolución científica, aunque el Heliocentrismo no obtuvo una clara ventaja hasta la formulación de las Leyes de Kepler.

Galileo asentó las bases de la cinemática, pero tendremos que esperar a Newton para obtener soluciones.

III. LA ASTRONOMÍA POSTCOPERNICANA:

I. TYCHO BRAHE:

1.- Biografía:

(Knudstrup 1546 - Praga 1601)

Astrónomo danés. Estudia filosofía y derecho en la universidad de Copenhague, pero la contemplación de un eclipse total de Sol decide su vocación hacia la astronomía, que estudia en la universidad al mismo tiempo que realiza trabajos de corrección de tablas astronómicas.

2.- Sus aportaciones:

A pesar de tener todos los elementos a su favor, no dio nunca un paso teórico decisivo debido a su ideología, ya que nunca aceptó el Heliocentrismo.

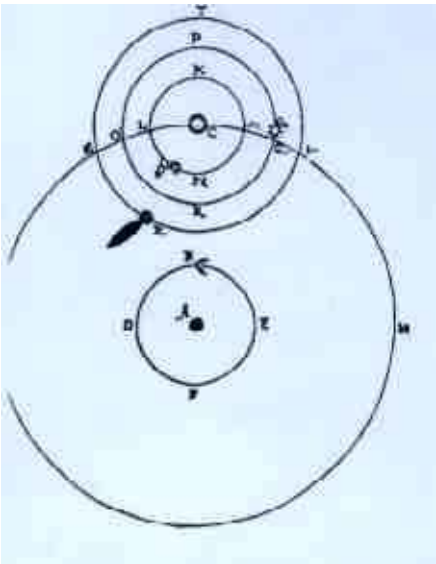
Su importancia radica en su gran labor observacional, de manera que perfeccionó e inventó muchos instrumentos de medición con los que acumuló gran cantidad de datos, confeccionando complejas tablas.

Sus observaciones le hicieron aceptar el error del modelo ptolomeico y aunque nunca aceptó que la Tierra no fuera el centro del Cosmos, se vio obligado a ceder frente a la idea de que era el Sol el centro de las órbitas planetarias, de manera que propuso un modelo que

ponía de acuerdo tradición y datos científicos: la Tierra estaba el centro del Cosmos y giraban a su alrededor la Luna y el Sol, y alrededor del Sol giraban los demás planetas.

ESQUEMA:

Sistema de Tycho Brahe en que podemos observar el cometa situado más allá de la esfera de la Luna.



Contribuyó así en dos importantes aspectos: la afirmación de la no existencia de las esferas cristalinas que transportaban los planetas y la afirmación de que los cielos no eran inmutables (con la aparición en 1572 de una supernova).

KEPLER:

1.- Biografía:

(Weil 1571 - Regensburgo 1630)

Johannes Kepler:

Astrónomo alemán. De noble familia protestante venida a menos, estudia matemáticas, filosofía y teología en Tubinga. En 1595 publica un almanaque en el que da algunas predicciones sobre el tiempo. Por su condición de protestante tiene que trasladarse a Hungría en 1598, pero regresa a su patria bajo la protección de los jesuitas para suceder a Tycho Brahe como matemático del emperador Rodolfo II.

2.- Las Leyes de Kepler:

Kepler fue de hecho, el primero que cambió los objetivos de la astronomía tradicional y rompió con ella. Pero se enmarca en la tradición místico-mágica, ya que estaba convencido que Dios había hecho el mundo siguiendo perfectas proporciones matemáticas.

Rehizo casi todos los cálculos desde la óptica heliocentrista. Realizó, así:

El estudio de la órbita terrestre y dedujo que si los movimientos son circulares, no hay, ningún punto en el interior de la órbita respecto del cual los arcos recorridos en tiempos iguales sean iguales, los movimientos NO pueden ser UNIFORMES. La variación de la velocidad, pensó, era inversamente proporcional a la distancia al Sol.

El estudio de la órbita de Marte, durante el cual cambió sus convicciones abandonando el postulado de la CIRCULARIDAD. Se dio cuenta de que la órbita de Marte se desviaba del cálculo de forma que parecía un óvalo, más tarde rectificó afirmando que eran ELÍPTICAS.

Sus tres Leyes, que presentamos a continuación, resumen estos dos hallazgos y un tercero, que relaciona los periodos de traslación de los planetas con sus distancias al Sol.

LAS TRES LEYES DE KEPLER:

1.- Las órbitas planetarias son elípticas y el Sol está en uno de los focos.

2.- La velocidad orbital de cada planeta es tal que una línea imaginaria que una el centro del planeta con el centro del Sol, barre áreas iguales en periodos iguales de tiempo.

3.- Los cuadrados de los periodos de los planetas son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol.

Se había completado así, la revolución iniciada por Copérnico. Las consecuencias de todo lo cual, una nueva física y una nueva dinámica, llegarían con Galileo y Newton.

LA REVOLUCIÓN COSMOLÓGICA (I)

GALILEO GALILEI

EL OBJETIVO FUNDAMENTAL DE LA OBRA GALILEANA :

El principal objetivo de *Galileo Galilei* es demostrar que el sistema heliocéntrico describe los hechos tal como se dan en la realidad.

Lo primero de lo que se dio cuenta Galileo fue que el nuevo sistema del mundo exigía un *nuevo modo de pensar* y una *nueva manera de abordar el estudio de la Naturaleza*, y por el hecho de realizar esto es conocido como el creador de la *primera ciencia*, la Física ; por el hecho de llegar a nuevas teorías a través de un nuevo método : el *método científico*.

II. LA OBRA ASTRONÓMICA :

En 1609 llegaron las primeras noticias del invento de un instrumento " con el cual las cosas lejanas se veían tan perfectamente como si estuvieran próximas". Galileo se dedicó, entonces, a perfeccionar un instrumento parecido hasta llegar a lo que primero llamó "perspicillum" y más tarde " *telescopio*". Así pues, no fue Galileo quien lo descubrió, pero si el primero en dirigirlo hacia el cielo, especialmente hacia la Luna para ratificar aquello de lo que ya estaba convencido, que tiene montañas y valles, " mares y océanos ", como la Tierra. En definitiva, lo que vio era una prueba de lo exigía el sistema copernicano : que el Cosmos no estaba dividido en dos regiones distintas constituidas por dos sustancias diferentes, cada una con leyes propias.

Otro gran hallazgo fue cuando dirigió el telescopio hacia Júpiter, alrededor del cuál se movían cuatro cuerpos a los que llamó "planetas medíceos" ; descubrió también que no todos los cuerpos celestes giraban en torno a la Tierra como afirmaba el geocentrismo.

Además, Júpiter con sus planetas constituían un modelo para el heliocentrismo, el cual postulaba que la Luna giraba alrededor de la Tierra y ésta alrededor del Sol.

Algunos de sus asombrosos descubrimientos fueron, aparte de los anteriores :

- la Vía Láctea no era más que una acumulación de estrellas.
- Venus tenía fases como la Luna.
- Saturno era "tricorpóreo".
- el Sol tenía manchas.

La mayoría de estos descubrimientos los publicó en 1610 en el libro " *Siderus nuncius*" (El mensaje de las estrellas).

Como estas demostraciones iban en contra de la teoría geocentrista, éstos intentaron esquivar e incluso interpretarlas justamente al revés, afirmando que lo que decía ver Galileo no podía ser, ya que contradecía a la Teología y a la recta filosofía. La primera razón que buscaron para contradecirle fue que ese instrumento, el telescopio, deformaba la realidad.

III. LA OBRA FÍSICA :

I. EL DOBLE OBJETIVO DE LA FÍSICA GALILEANA :

Galileo propuso una doble finalidad para la Física :

- hallar una *solución definitiva* al gran problema de la Física aristotélica, el de los movimientos violentos y la aceleración en la caída de los graves.
- *demostrar* que es físicamente posible que la Tierra se mueva y que ello está de acuerdo con los hechos observados.

II. EL PROBLEMA DE LOS MOVIMIENTOS VIOLENTOS :

Uno de los principales problemas de los aristotélicos era la explicación de los movimientos violentos, ya que en el lanzamiento de un proyectil el motor deja de actuar y éste continúa moviéndose en la dirección y sentido del lanzamiento y no hacia abajo que es su lugar natural. La pregunta era que quién era entonces el motor y el propio Aristóteles sugirió que era el medio en que se mueve el proyectil, pero entonces surgían otras preguntas, como : ¿por qué va perdiendo velocidad y después cae ? ¿ quién mueve el medio ?, etc.

Ya en el s.VI Juan Filopón expuso la teoría del "*ímpetus*" que, siguiendo a Aristóteles, parte de la distinción entre movimientos naturales y violentos y de que todo movimiento necesita un motor, pero niega que en los movimientos violentos el motor tenga que ser al móvil.

Si éste continua moviéndose una vez ha dejado de estar en contacto con el motor, es porque éste imprime al móvil un impulso , una fuerza motriz que entonces actúa de motor. De este modo se puede explicar :

- la continuación de un movimiento violento sin motor externo.
- la pérdida de velocidad del mismo por desgaste de esta fuerza motriz.

- la aceleración en la caída final porque en ella actúa de motor la gravedad del cuerpo.

-que un cuerpo cuanto más pesado sea más lejos llega en un lanzamiento y mayor velocidad alcanza en su caída, puesto que la cantidad de *ímpetus* que recibe es proporcional a la cantidad de materia que contiene.

Galileo adoptó esta teoría, pero llegó al convencimiento que la teoría del *"ímpetus"* no podía ofrecer una explicación convincente y que para solucionar el problema de los movimientos violentos era necesario deshacerse de la visión aristotélica en conjunto y no sólo modificar algunos aspectos, como había hecho esta teoría.

III. PRIMEROS ATAQUES A LOS FUNDAMENTOS DEL SISTEMA ARISTOTÉLICO :

1.- Falsedad de la distinción entre cuerpos pesados y ligeros : todos los cuerpos son graves :

Galileo inició su ataque contra la concepción aristotélica afirmando que todos los cuerpos se comportan de forma igual respecto al movimiento. No es verdad que unos (fuego y aire) tiendan a ir hacia arriba porque son ligeros por naturaleza y otros (tierra y agua) tiendan hacia abajo por ser graves.

Galileo afirma que la gravedad y la levedad no son propiedades absolutas sino relativas, son simples relaciones : un mismo cuerpo puede ser grave o leve
(bajar o subir) según el medio en que se encuentre. Es con esta afirmación que Galileo suprime uno de los pilares de la física aristotélica : la ligereza y la gravedad no dependen de la naturaleza del cuerpo sino de su posición respecto de los demás cuerpos que le rodean.

Para llegar a la conclusión que todos los cuerpos son graves Galileo parte de la misma afirmación aristotélica, suponiendo que un cuerpo independientemente de los demás caería hacia abajo, así pues, el hecho de que unos suban es porque son empujados por otros que pesan más que ellos y, en consecuencia, Galileo llega a la deducción que el movimiento hacia arriba no es natural.

Con todo esto Galileo ha destruido la fundamental distinción cualitativa entre los elementos, llegando a que la única diferencia entre ellos es simplemente de cantidad : unos tienen más poder que otros para descender.

Finalmente se entra en la *Física cuantitativa.*

2.- Movimientos naturales y violentos : otra distinción inadecuada :

Con todo lo considerado anteriormente Galileo creyó que sólo había un movimiento natural : el que se dirige hacia el centro de la Tierra, pues, todos los cuerpos pesan.

Pronto se dio cuenta de que la misma distinción entre movimientos naturales y violentos era inadecuada, ya que había movimientos que no podían ser clasificados ni como unos ni otros, como el de una esfera que gira sobre sí misma en el centro del mundo y, en general, cualquier movimiento de rotación.

Galileo llegó a la conclusión que esta distinción aristotélica era otra de las que había que eliminar.

IV. LOS MISMOS FENÓMENOS CON DISTINTAS INTERPRETACIONES :

1.- Geocentrismo y heliocentrismo :

Galileo publicó en 1663 los " Diálogos sobre los sistemas máximos", en los que contraponía la cosmología copernicana a la aristotélico- ptolomeica. El objetivo básico de esta obra es hacer ver que si bien de entrada la visión geocéntrica parece la más natural, con sólo un poco de reflexión se ve que todavía lo es más la heliocéntrica.

Una de las cosas de las que se da cuenta es que todos aquellos fenómenos que parece explicar el geocentrismo quedan todavía mejor explicados en el sistema heliocéntrico, y este último es capaz de dar razón de todos aquellos fenómenos que nunca había podido explicar el geocentrismo.

2.- Relatividad de la idea de perfección :

La visión que tiene Aristóteles del mundo supralunar es que éste es perfecto porque no hay en él alteraciones y, en cambio, el mundo sublunar es imperfecto porque en él se dan estos procesos.

Galileo, por el contrario, opina que si se sigue este razonamiento también la Tierra es igualmente inmutable, así como los cuatro elementos que siempre son los mismos.

Los aristotélicos afirman que los seres celestes por ser perfectos son esféricos y su movimiento es circular y uniforme y que, en cambio, las formas angulosas y los movimientos rectilíneos son propios de los cuerpos de la región sublunar debido a su imperfección.

Pero según Galileo la perfección no consiste en estos valores, ya que la perfección no es absoluta sino relativa, por ejemplo, una piedra esférica es perfecta para rodar, pero no para construir una muralla.

3.- La relatividad del movimiento :

Algunos de los experimentos que se hicieron para comprobar la relatividad del movimiento fueron :

- una piedra dejada caer desde lo alto de una torre no tendría que ir a parar al pie de la misma, pues si la Tierra gira en torno a su eje de Occidente a Oriente, tendría que caer un poco lejos de su pie hacia Occidente, ya que, durante la caída, la torre se habría desplazado un poco hacia Oriente.

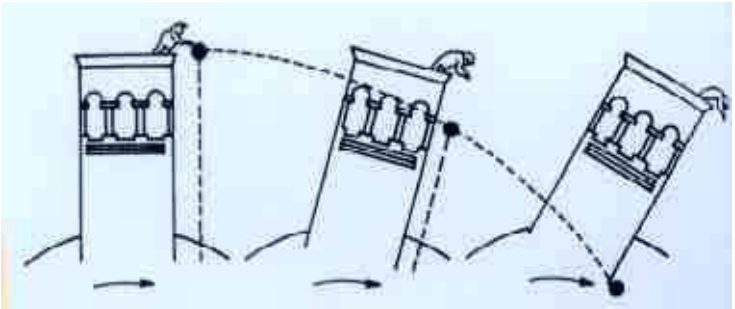
- una bala de cañón disparada hacia Oriente tendría que caer más lejos de aquél que otra disparada, con la misma fuerza, hacia Oriente.

Como todo esto no es así, los aristotélicos dedujeron que la Tierra no se movía.

En lo primero que ataca Galileo es en hacer ver a los aristotélicos que su argumentación cae en un círculo vicioso.

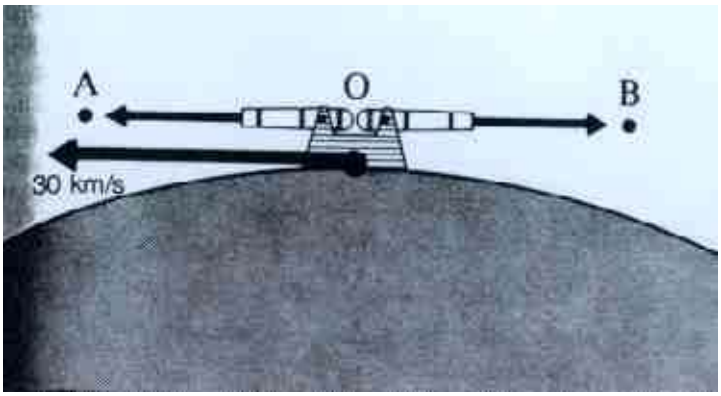
ESQUEMA:

Experimento de la torre.



ESQUEMA:

Demostración del cañón.



Más tarde Galileo da una nueva interpretación a los hechos, sentando otro de los principios de la nueva física : la *relatividad* no sólo *óptica* sino también *física* del movimiento.

Para Galileo *reposo* y *movimiento* son *relativos* : un cuerpo está en movimiento sólo por referencia a otro que se considera en reposo. El movimiento no es algo que afecte a la naturaleza del móvil, como afirmaba Aristóteles, sino puramente a la relación que mantiene con los demás objetos circundantes : cuando un mismo movimiento afecta a varios objetos se puede afirmar que entre ellos no existe tal movimiento.

Siguiendo esto Galileo explica la experiencia de la torre objetando que si la piedra y la torre participan juntas del mismo movimiento de la Tierra todo pasará entre ellas dos y la Tierra como si ésta estuviera en reposo.

Por lo tanto, tanto Simplicio (aristotélico) como Galileo ven que la piedra sigue una trayectoria paralela a la pares de la torre, pero mientras el aristotélico piensa que dicha trayectoria es realmente vertical (rectilínea), Galileo afirma que tan sólo lo es de manera relativa, sólo lo es para aquél que lo observa desde la Tierra, pero un observador que se situara fuera de ella vería una línea curva que es el resultado de la composición del movimiento de la Tierra y del de la caída de la piedra.

V. UN NUEVO CONCEPTO DE MOVIMIENTO : NACE LA CINEMÁTICA :

Para Aristóteles el movimiento era :

- simplemente un *proceso* que seguía un *cuerpo* para alcanzar una *nueva forma*.
- *afectaba a su propia naturaleza*.
- un cuerpo *no podía tener dos movimientos distintos a la vez*.

Para Galileo, en cambio, era :

- un *estado* igual que el reposo.

- todo cuerpo es *indiferente al movimiento o al reposo*, su naturaleza permanece la misma tanto si se mueve como si no, y lo único que cambia son sus relaciones posicionales con los otros cuerpos.

- un cuerpo *puede estar afectado por varios movimientos a la vez* y la trayectoria que seguirá será la resultante de la composición de aquéllos.

VI. LAS LEYES DEL MOVIMIENTO :

1.- La base teórica :

Galileo empieza su estudio del movimiento afirmando que lo que importa no es tanto hallar la causa del mismo sino su esencia ; se trata , en primer lugar, de explicar en qué consiste cada tipo de movimiento hallando la definición de cada uno, definición de tipo matemático que nos tiene que aclarar en qué proporciones se da tal movimiento y por qué está precisamente en estas proporciones.

Este discurso matemático lo complementa con otro principio básico para la comprensión de las leyes de la naturaleza : el *principio de la simplicidad* según el cuál la Naturaleza actúa siempre de la manera más sencilla.

En su obra de 1638 “ Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias” Galileo clasifica el movimiento en :

- uniforme.
- uniformemente acelerado y violento.
- de proyectiles.

2.- Movimiento uniforme :

“ Por movimiento igual o uniforme entiendo aquél en el que los espacios recorridos por un móvil en tiempos iguales, cualesquiera que estos sean, son iguales entre sí ”.

De esta definición se siguen una serie de proposiciones fácilmente demostrables :

Proposición I : Si un móvil dotado de movimiento uniforme, recorre dos espacios distintos a la misma velocidad, los tiempos empleados guardarán entre sí la misma proporción que los espacios recorridos.

$$\frac{\text{Espacio (I)}}{\text{Tiempo (I)}} = \frac{\text{Espacio (II)}}{\text{Tiempo (II)}} \rightarrow \text{constante}$$

La constante de proporcionalidad es la velocidad del movimiento uniforme.

3.- Movimiento uniformemente acelerado :

El principal tema de estudio de Galileo fue el movimiento de caída libre, ya que era el que afectaba de modo natural a todos los cuerpos. Llegó a la conclusión que este tipo de movimiento acelerado más sencillo se podría definir como : aquel que, partiendo del reposo, adquiere en tiempos iguales, iguales incrementos de velocidad.

También de esta definición se deducen varias proposiciones.

4.- Movimiento de los proyectiles :

Otro de los grandes descubrimientos de Galileo fue determinar la trayectoria de los proyectiles como parabólica a partir de la composición de dos movimientos.

Fue también gracias a su nueva concepción del movimiento que pudo llegar a descubrir esto.

Pero se tiene que recordar que los aristotélicos esta composición no era aceptable, ya que para ellos no se podían combinar movimientos de tipo distinto (circulares y rectilíneos) ni que de unos pudieran resultar otros.

VII. EL PRINCIPIO DE LA INERCIA :

Según Galileo : “ Sabemos que el movimiento de un móvil proyectado sobre un plano horizontal sin rozamiento será uniforme y perpetuo suponiendo que el plano se prolongue hasta el infinito”. Así, una vez puesto un cuerpo en movimiento continúa así de modo uniforme hasta el infinito, si nada lo modifica.

Galileo llegó a esta conclusión a partir de consideraciones como la siguiente : Si dejamos caer rodando por un plano inclinado completamente liso una esfera perfectamente pulida,

veremos como ésta se acelera adquiriendo cada vez más velocidad. Ello demuestra que la aceleración viene producida por su tendencia hacia el centro de la Tierra (gravedad).
Si esta esfera se la deja rodar por un plano horizontal su movimiento tendrá que persistir independientemente sin aceleración ni desaceleración, o sea, con movimiento uniforme, ya que no hay acercamiento ni alejamiento del centro.
Para muchos estudiosos hace falta estudiar qué entendía Galileo por plano horizontal, ya que no se trata de la horizontal geométrica de un espacio eucídeo, pues un plano de este tipo, colocado sobre la superficie de la Tierra, se elevaría, ya que se alejaría del centro. La perpetuación del movimiento no se da pues en sentido rectilíneo, como afirma la física moderna, sino circular.

Galileo intuyó este principio, pero no pudo llegar a su formulación definitiva. Con todo esto se había dado el golpe definitivo a la dinámica aristotélica : el movimiento como tal no necesita motor. Tal como creía Aristóteles un motor constante no provoca movimiento uniforme, sino aceleración.

VIII. LAS BASES CONCEPTUALES DE LA NUEVA FÍSICA :

- Principio de la relatividad del movimiento : desde dentro de un sistema no es posible decidir si éste se halla en reposo en movimiento. Reposo y movimiento no son propiedades de los cuerpos, sino puras relaciones posicionales que éstos mantienen con los cuerpos circundantes.

- Principio de la conservación del movimiento : todo movimiento se conserva por sí mismo, es un estado y no un simple proceso. Un motor constante no produce movimiento sino aceleración.

- Principio de la composición de movimientos : puesto que el movimiento no afecta a la naturaleza del móvil, un cuerpo puede ser afectado por varios movimientos distintos al mismo tiempo, los cuales se componen entre sí dando otro resultante.

- Posibilidad de la existencia del vacío : aunque no pudo ofrecer pruebas contundentes, Galileo afirmó su posibilidad para justificar varios fenómenos, cómo el que la

Tierra no pierda su atmósfera a causa de su traslación, o que todos los cuerpos en el vacío caen a la misma velocidad.

IV. EL MÉTODO GALILEANO : UNA NUEVA EPISTEMOLOGÍA :

I. EL PROBLEMA DEL MÉTODO :

Para descubrir todos estos principios Galileo partió de unas bases de la ciencia moderna, pero nunca escribió un *"Tratado del método"*. Tal vez lo que Galileo quiere sugerir es que la nueva ciencia no consiste sólo en una serie de reglas o pasos a seguir, sino en algo mucho más radical : una nueva mentalidad, un nuevo modo de entender la Naturaleza y las relaciones del conocimiento humano con ella.

II. EL MATEMATICISMO : UN NUEVO CONCEPTO DE NATURALEZA :

Galileo tenía una obsesión por el tratamiento matemático de las cuestiones físicas, justamente al revés que Aristóteles.

Para los aristotélicos en la Naturaleza no hallamos nada que sea realmente matemático, es decir, que se ajuste exactamente a los conceptos matemáticos. E incluso suponiendo que se pudieran llegar a fabricar objetos con estas cualidades, siempre serían artificiales.

Naturalmente los aristotélicos tienen razón, pero Galileo empieza por cambiar el mismo concepto de Naturaleza : muchas de estas cualidades no son realmente propiedades de los objetos, sino sólo de nuestros sentidos.

Galileo retoma una idea ya expuesta por los atomistas, de que hay que distinguir entre dos tipos de cualidades : las que están realmente en los objetos tal como son captada por nuestros sentidos (figura, tamaño, movimiento y número) y las que sólo están en el sujeto (colores, olores, sonido, etc.).

Para Aristóteles el *peso* o *gravedad* es una propiedad que poseen sólo ciertos seres, aquellos que están hechos principalmente de tierra o agua, en cambio el aire y el fuego tienen otra cualidad, la *ligereza*. Galileo, en cambio, considera que lo que determina que un cuerpo sea pesado no es ninguna cualidad sino simplemente la *cantidad* de materia. Así pues, para él *gravedad* y *ligereza* no son deferencias cualitativas sino cuantitativas.

III. LOS PASOS DEL MÉTODO :

Primero : Análisis de los datos que recibimos de la Naturaleza para quedarnos con los esenciales.

Resolución.

Segundo : Construcción de un modelo matemático que relacione estos datos esenciales a través de teoremas o leyes y deducción de consecuencias a partir de ellos. Se trata de una construcción mental.

Composición.

Tercero : Comprobar en la experiencia se las leyes formuladas y sus consecuencias suceden en la realidad tal como han sido construidas en la mente.

IV. DISTINTAS INTERPRETACIONES :

Si todo hecho es siempre observado bajo unas posiciones teóricas, la pregunta que surge es : ¿ de dónde surgen las teorías ?. Para responder a esta pregunta hay dos interpretaciones distintas.

- Empirista : afirman que las teorías vienen sugeridas por la experiencia.

- Apriorística : según esta interpretación en la formulación de la teoría la experiencia no juega un papel importante e incluso la investigación habrá de progresar.

Su gran defensor A.Koyré, afirma a menudo que : " la buena Física se hace a priori".

V. LAS BASES EPISTEMOLÓGICAS DE LA NUEVA CIENCIA :

El nuevo modo de ver la realidad se puede resumir en los siguientes principios epistemológicos.

- Racionalismo: la estructura de la realidad no es tal como se muestra a nuestros sentidos, sino tal como exige nuestra razón, pues las propiedades objetivas son la cuantitativas y no las cualitativas que son puramente subjetivas.

- Matematicismo : la estructura de la realidad es matemática y la de nuestra mente también lo es ; cuando actúa correctamente, es decir, matemáticamente, es infalible.

- Fisicismo : la misión de la Ciencia no es estudiar el *por qué* ni/o

el *para qué* , sino el *cómo* suceden los hechos.

- Uniformidad : toda la Naturaleza funciona siguiendo las mismas leyes.
- Simplicidad : la Naturaleza funciona de la manera más simple.

LA REVOLUCIÓN COSMOLÓGICA (II) - DE GALILEO A NEWTON

I. LA CUESTIÓN DEL MÉTODO :

Algunos hombres como *Paracelso* o *Van Helmont* rompieron de alguna manera con la forma tradicional de entender y abordar el estudio de la Naturaleza, ayudando así a resquebrajar la visión del mundo y la mentalidad que habían dominado durante tantos siglos.

Aunque en realidad quien logró dar con el método fecundo y por lo tanto puede considerarse como el verdadero fundador de la ciencia moderna es *Galileo.*

II. LA VISIÓN INDUCTIVA : BACON :

Francis Bacon (1561-1626) tenia una concepción muy distinta a la de Galileo, pero fue considerado el padre de la ciencia experimental.

Bacon criticó duramente a Aristóteles y propuso la utilización total del *método inductivo* en contra del deductivo, invitando a prescindir de los principios teóricos y apoyarse tan sólo en la *experimentación.*

Según Bacon el objeto de la ciencia no consiste en encontrar verdades metafísicas abstractas acerca de la naturaleza de las cosas, sino mejorar las condiciones de vida de los hombres por medio de su aumento de poder sobre la naturaleza.

Para Bacon el método para conseguir estos fines era la acumulación de datos empíricos, los científicos debían recoger y anotar los resultados de múltiples observaciones sin detenerse a teorizar.

Así pues, el baconianismo sirvió de gran estímulo para la experimentación que tuvo un inusitado desarrollo a partir del s.XVII.

III. LA VISIÓN DEDUCTIVA : DESCARTES :

René Descartes (1596-1650) , al contrario que Bacon, propuso un método de tipo *deductivo* basado en el razonamiento matemático.

Descartes se propuso elaborar una filosofía que fundamentara y justificara la validez de la ciencia moderna. No se limitó a enunciar nuevas leyes ni a elaborar nuevas ramas de la ciencia, sino que intentó dar en fundamento metodológico y metafísico que garantizara la *objetividad*, *necesidad* y *certeza* de la nueva ciencia ; es precisamente por eso el verdadero iniciador de la filosofía moderna.

Su primer objetivo fue buscar alguna verdad que fuera absolutamente indudable. Para él la *evidencia* será el criterio de aceptación o rechazo de cualquier proposición, no obstante, ésta no se da en los sentidos sino en la razón.

Según Descartes lo único absolutamente indudable era el hecho de que estaba dudando.

De aquí sale la frase : *"Pienso, luego existo".*

Su primera necesidad fue la de la existencia de *Dios*, de la que dedujo a su vez la existencia del mundo.

Ante él aparecen tres clases de realidad a las que llama sustancias : el *pensamiento* (o *espíritu*), *Dios* y el *mundo* (o *materia*). El *espíritu* y *Dios* son inmateriales y libres, pero mientras que el *espíritu* es limitado (como demuestra el hecho de la duda) *Dios* es infinito. El *mundo*, en cambio, al ser material, está sometido a unas leyes determinísticas.

Respecto al mundo empezó examinando la naturaleza de la materia y concluyó que ésta no es otra cosa que extensión infinita en magnitud y divisibilidad y sus propiedades son las puramente geométricas.

Para Descartes la *materia primera* o polvo cósmico constituía el sol y las estrellas. La *materia segunda* era el aire o elemento etéreo que componía el espacio interestelar. Había también la *materia tercera* que era el constituyente del elemento tierra, los planetas y los cometas.

La teoría de Descartes explicaba por qué todos los planetas se movían en el mismo sentido alrededor del Sol y porque los más próximos a él lo hacían más deprisa. Con su teoría de los vórtices se podía explicar también por qué la Tierra, en su movimiento de

rotación, no produce corrientes atmosféricas especiales : si la Tierra es arrastrada por su propio torbellino local no hay razón para que existan corrientes en conflicto.

La idea de *Dios* constituía, en definitiva, el fundamento principal de su sistema con lo cual alejaba el peligro del ateísmo. Dado que *Dios* había creado la extensión y puesto en movimiento el universo en el momento de la creación, la cantidad de movimiento del mundo había de permanecer constante. Fue mediante este argumento que Descartes llegó al *Principio de conservación de la cantidad de movimiento.*

Como creía que *Dios* gobernaba el universo plenamente mediante leyes de la naturaleza que habían sido decididas desde el comienzo, Descartes llegó a unos *principios básicos* de los cuales dedujo unas cuantas *leyes de la física*, algunas enteramente válidas como las siguientes :

- Primer ley : cada cosa, en cuanto depende de sí misma, continúa siempre en el mismo estado de reposo o movimiento, y nunca cambia a no ser por la acción de alguna otra cosa.

- Segunda ley : todo cuerpo en movimiento tiende a continuar ese movimiento en línea recta.

En su obra "*Geometría"* parte del principio de que el álgebra es superior a la geometría porque es más general y porque puede aplicarse a la propia geometría.

IV.EL PROGRESO DE LA CIENCIA EXPERIMENTAL :

Uno de los experimentos más famosos es el de *Torricelli* en 1644 con el que demostró la existencia del vacío y la presión de la atmósfera.

El experimento consistió en invertir un tubo de 1m. cerrado por un extremo y lleno de mercurio, sobre una cubeta que contenía también este líquido. Puesto que el mercurio se mantenía a una altura de 76 cm. Sobre el nivel de la cubeta, sin llegar al extremo del tubo, en este extremo se formaba un espacio presumiblemente vacío, ya que no era posible que nada hubiera entrado en él.

Pascal (1623-1662) después de muchos estudios sobre la presión atmosférica enunció el famoso principio que lleva su nombre sobre la transmisión, en los fluidos, de la presión en todas direcciones.

Robert Boyle (1627-1691) perfeccionó, junto a otro gran investigador, la *bomba de vacío* que había inventado el alemán Otto Van Guericke en 1564. Su culminación como científico la logró en 1661 al probar que la presión ejercido por un gas era inversamente proporcional al volumen ocupado por éste.

Boyle compartía por completo el punto de vista de *Galileo* y *Descartes* sobre la estructura matemática de la naturaleza. Aceptaba también, la visión mecanicista de la naturaleza según la cual todos los fenómenos naturales pueden ser interpretados mecánicamente : la naturaleza es una máquina incomparable y Dios su ingeniero.

V. ISAAC NEWTON : LA AXIOMATIZACIÓN DE LA MECÁNICA CLÁSICA :

I. IMPORTANCIA DE SU OBRA :

Hacia el último tercio del s.XVII la ciencia había adquirido ya un gran desarrollo, en muchos de sus sectores como : matemáticas, óptica, mecánica, etc.

Isaac Newton realizó también múltiples e importantes descubrimientos, pero su importancia proviene básicamente de una labor : haber dado forma definitiva a la nueva visión del mundo que se derivaba de la revolución iniciada por Copérnico.

Con él la ciencia moderna llegó a su punto culminante.

II. LOS PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA :

La obra más importante de *Newton*, “Principios matemáticos de filosofía natural” (1687) es muy interesante tanto por su contenido como por la forma de exposición del mismo. En esta obra se ve el ideal que debía perseguir la ciencia : constituir un *sistema axiomático deductivo* mediante el cual se pueda deducir matemáticamente todo el funcionamiento de la Naturaleza a partir de unos pocos conceptos y leyes fundamentales.

A continuación se exponen tres *leyes del movimiento* o *principios (axiomas) de la mecánica* :

Primera : o *ley de la inercia*, intuida por Galileo y correctamente expresada por Descartes.

“ todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vea obligado a cambiar el estado por la acción de alguna fuerza” I

Segunda : “ la relación entre la fuerza aplicada a un cuerpo y el cambio de movimiento que le produce : el cambio de movimiento es proporcional a las fuerzas motrices impresas, y se hace según la línea recta en la cual se imprime dicha fuerza”

Tercera : o *ley de la acción y reacción*.

“ La acción es siempre contraria e igual a la reacción como las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas a partes contrarias”

Como se puede ver con estas leyes, Newton ha introducido un concepto que no aparecía en las leyes galileanas del movimiento : el de Fuerza. Así pues, la *Cinemática* queda completada con la Dinámica.

III. LA LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL :

Esta ley explica fenómenos a primera vista tan distintos como la caída de los objetos sobre la Tierra, el movimiento de la Luna y de los planetas o el fenómeno de las mareas.

Según esta ley dos cuerpos puntuales se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.

Para llegar a esta ley a Newton se le ocurrió la idea de que la misma fuerza que atrae a los cuerpos hacia la Tierra podía también atraer la Luna a la Tierra. Pensó que la aceleración de caída de un cuerpo en la superficie de la Tierra obedecía al mismo fenómeno, rompiendo así con todas las tradiciones al unificar los movimientos celestes con los terrestres.

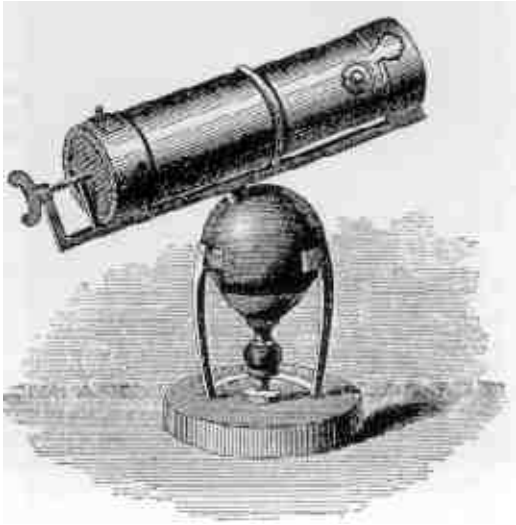
IV. EL MÉTODO NEWTONIANO :

Newton va explícitamente en contra del *racionalismo* y *apriorismo* de Galileo y, sobre todo, de Descartes.

Newton insiste repetidamente en que la base del conocimiento es el estudio de los fenómenos tal como se dan en la experiencia, confesándose abiertamente seguidor de la líneas metodológica expuesta por Bacon.

FOTO:

Telescopio reflector construido por Newton.



Una frase que le gustaba repetir mucho a Newton es : “ *Hipoteses non figo”* (Yo no invento hipótesis).

El anticartesianismo de Newton se ve claramente en el enunciado de sus “*reglas del razonamiento en filosofía”*, donde repudia cualquier generalización sobre la Naturaleza que provenga de un atento examen de los fenómenos :

Regla I : No debemos admitir más causas de las cosas naturales que las que son al tiempo verdaderas y suficientes para explicar sus apariencias.

Regla II : Debemos asignar las mismas causas a los mismos efectos naturales. (Principio de constancia de la naturaleza).

Regla III :Las cualidades de los cuerpos que no admiten aumento ni disminución de grados y pertenecen a todos los cuerpos dentro del ámbito de nuestros experimentos, han de estimarse como cualidades universales de todos los cuerpos.

Regla IV : En la filosofía experimental, las proporciones inferidas por inducción de los fenómenos deben ser reputadas, a pesar de las hipótesis contrarias que queda imaginar, como exacta o aproximadamente verdaderas, hasta que ocurran otros fenómenos que permitan confirmarlas exactamente o las sujeten a excepciones.

VI. LA MÁQUINA DEL MUNDO :

Si se considera a Galileo como el verdadero fundador de la ciencia modera es porque fue capaz de definir el campo propio de su investigación, el mundo físico, separándola tanto de la teología como de la filosofía, delimitación que no queda tan clara en Newton. En segundo lugar es considerado así porque trazó un programa de investigación determinando los objetivos de la misma : las leyes naturales funcionan de un modo determinístico, siempre a las mismas causas corresponden los mismos efectos.

Este programa fue llevado a sus extremos por el mecanicismo cartesiano : la realidad física funciona igual que una máquina. En el universo cartesiano no cabía un concepto como el de la gravitación newtoniana. En una máquina, el movimiento de una pieza viene producido por el contacto directo de otra. La acción de la gravedad supone, en el fondo volver a las ideas de la tradición místico-mágica.

Newton adoptó el lenguaje del mecanicismo y sugirió que todos los fenómenos del movimiento en la naturaleza podían deducirse matemáticamente de los principios de la mecánica. Newton no quería admitir que el mundo fuera como una máquina, para él las mutuas influencias de los cuerpos iban desorganizando poco a poco esta maquinaria. Por eso necesitaba a Dios como vigilante constante del universo que corregía sus errores sin cesar.

El Dios de Newton no era un ingeniero, como el de Descartes, sino un ser providente cuya presencia era parte necesaria de la misma naturaleza de las cosas.

La concepción del mundo como máquina se impuso como modelo para las investigaciones posteriores y se intentó aplicar a todos los campos. Hubo que esperar hasta casi el último tercio del s.XIX para que el convencimiento de que el modelo mecánico podía explicar todos los fenómenos empezara a entrar en crisis.

BIBLIOGRAFIA:

“La Revolución Científica de los siglos XVI-XVII”

Madrid 1986

“Biografías”

Enciclopedia Sistemática NUEVA ACTA 2000

Ediciones RIALP S.A.
Madrid 1980